

УДК 621.791.92

Савуляк В. І., Заболотний С. А., Шаповалова О. В., Шенфельд В. Й.

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ПРИПУСКУ НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБКУ ОТВОРІВ У ЗАГОТОВКАХ З НАПЛАВЛЮВАННЯМ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ

Під час проектування та виготовлення деталі до матеріалу її окремих поверхонь висуваються різні, інколи протилежні вимоги. Так, наприклад, основний матеріал масивних деталей повинен забезпечити їх працездатність під впливом ударних навантажень, навантажень згину або ж поверхня, що сприймає високі питомі тиски та піддається абразивному зношуванню, повинна мати високу твердість, а серцевина деталі або більш глибинні шари повинні залишатися в'язкими та пластичними. При цьому робочі поверхні деталі повинні забезпечити також працездатність в умовах різних видів тертя.

Деталі такого типу, до яких належать і деталі шасі транспортної техніки, виготовляються методами литва або штампування. Але без включення додаткових операцій, які модифікують поверхневий шар (локальне гартування, легування та інші) ці методи виготовлення не можуть безпосередньо забезпечити оптимальні параметри робочих поверхонь, зокрема отворів, що працюють в умовах тертя. У такому випадку доцільним є використання заготовок, які можна отримати шляхом нанесення на найбільш навантажені поверхні функціональних покриттів [1–5].

Метою роботи є визначення режимів процесу електродугового наплавлювання, як функції необхідної геометрії покриття, що наноситься (товщина шару та його макро- і мікрогеометрія).

Технологія відпрацьовувалась з використанням вдосконаленої установки для напівавтоматичного наплавлення в середовищі захисних газів УД-209М, з використанням наплавлювального дроту Нп-30ХГСА, джерела живлення зварювальної дуги ВДУ-306, системи підігріву, сушки та подачі захисного газу [6].

Наплавлення здійснюється по гвинтовій лінії, що забезпечується обертанням деталі та переміщенням наплавної головки вздовж виробу. Одним із факторів, що впливає на геометрію напавленого покриття, є крок наплавлення, який визначається співвідношенням між частотою обертання виробу та швидкістю лінійного переміщення наплавної головки.

В базовій моделі установки УД-209М крок наплавлення змінюється дискретно, шляхом заміни пар шестерень у привідному редукторі. З метою здійснення плавного регулювання кроку наплавлення було здійснено модернізацію приводу установки шляхом заміни двигуна змінного струму та редуктора на кроковий двигун із системою керування частоти входних імпульсів. Це дало змогу без зупинки процесу наплавлення проводити налагоджування кроку та, відповідно, керувати якістю нанесеного покриття.

Використовувались такі значення параметрів наплавлення:

1. Діаметр дроту – 1,2...2 мм.
2. Напруга на дузі – 22...38 В.
3. Сила струму – 90...150 А.
4. Швидкість подачі дроту – 94...102 м/год.
5. Швидкість обертання наплавної деталі – 2...3 об/хв.
6. Крок наплавлення – 2,8...6,3 мм.
7. Зміщення від зеніту – 0...10 мм.

На товщину напавленого шару впливає сукупність параметрів процесу наплавлення. Одну і ту ж товщину напавленого шару a (рис. 1) можна отримати при різних сукупностях значень параметрів наплавлення. Проте при цьому буде змінюватись загальна геометрія напавлених валків, зокрема глибина проплавлення та висота гребенів, які найбільше впливають на величину складової мінімального припуску на механічну обробку z .

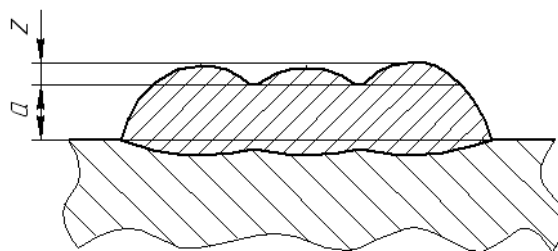


Рис. 1. Основні розміри (геометрія) наплавленого шару

Основними факторами, що визначають геометрію наплавленого шару, можна вважати діаметр електродного дроту d , швидкість наплавлення v_n , швидкість подачі електродного дроту v_d , напруга на дузі U , крок наплавлення t .

В зв'язку з цим постає актуальна задача, яка полягає у визначенні оптимальних значень параметрів процесу наплавлення, що забезпечать необхідну товщину наплавленого шару a при мінімальному припуску на механічну обробку z . Це дозволяє скоротити витрати електродного дроту та металу, що переходить у стружку при механічній обробці, і, як наслідок, підвищити ефективність процесу.

Визначимо параметри, які найбільше впливають на геометрію наплавленого шару при використанні установки УД-209М. Швидкість подачі дроту в установці УД-209М конструктивно пов'язана із швидкістю наплавлення. Збільшення діаметра електродного дроту прямопропорційно збільшує площу перерізу наплавленого валика, що було встановлено попередніми дослідженнями. Прийmemo як варіативні такі параметри: швидкість наплавлення v_n , напруга на дузі U , крок наплавлення t .

Для розв'язання поставленої задачі розробимо математичну модель, яка описує вплив визначених параметрів (v_n , U , t) на геометрію наплавленого шару (a , z). Доцільним є використання методу планування та постановки повного факторного експерименту з проведенням регресійного аналізу [7–9].

Експерименти проведені на установці УД-209М, наплавлення проводили електродним дротом Нп-30ХГСА на зразки із сталі 40Х, що мають діаметр отвору 60 мм та товщину стінки 30 мм. У якості захисної атмосфери використано вуглекислий газ.

Попередньо отримана лінійна модель показала її неадекватність. Тому доцільно використати апроксимацію функції відгуків y_z та y_a поліномом другого порядку виду [7]:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2. \tag{1}$$

Інтервали варіювання та рівні факторів приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Інтервали варіювання та рівні факторів впливу на геометрію наплавленого шару

Фактори	Інтервали варіювання	Рівні факторів		
		основн. 0	верхн. + 1	нижн. – 1
x_1 – напруга на дузі, В	8	30	38	22
x_2 – швидкість наплавлення, м/хв	2	5	7	3
x_3 – крок наплавлення, мм/об	1,75	4,55	6,3	2,8

З кожного циліндричного наплавленого зразка було виготовлено по чотири макрошліфа, на яких були виміряні товщини наплавлених шарів та складову припусків на механічну обробку, яка спричинена хвилястістю поверхні. Площина, в якій проводилось вимірювання,

була повздовжнім осьовим перерізом зразка. Вимірювання проводили за допомогою інструментального мікроскопа ОРІМ-1 з точністю 0,01 мм. Для планування експерименту використано матрицю рототабельного планування другого порядку для трьох факторів (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця центрального композиційного плану другого порядку для трьох факторів

Склад плану	№ дос.	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	y_a	y_z
План типу 2^3	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,97	1,23
	2	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	1,62	0,45
	3	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	2,08	1,06
	4	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	2,6	0,46
	5	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	2,65	0,38
	6	+	-	+	-	-	+	-	+	+	+	1,92	0,14
	7	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	2,62	0,23
	8	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	2,41	0,14
«Зоряні» точки	9	+	$+\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	0	0	1,95	0,84
	10	+	$-\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	0	0	2,1	0,21
	11	+	0	$+\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	0	1,4	0,6
	12	+	0	$-\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	0	2,8	0,28
	13	+	0	0	$+\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	1,42	0,13
	14	+	0	0	$-\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	2,44	0,11
Нульова точка	15	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,09	0,49
	16	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,16	0,57
	17	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,39
	18	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,12	0,66
	19	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1	0,51
	20	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,15	0,55

На кожному макрошліфі значення a та z визначали як середнє значення із 16 вимірювань. В стовпчиках y_a та y_z табл. 2, відповідно, приведено середні значення складової припуску z , спричиненої хвилястістю поверхні, та висоти наплавленого шару a .

За відомими формулами [7] знайдено коефіцієнти рівняння регресії для функцій $y_a = f(U, v_n, t)$ та $y_z = f(U, v_n, t)$ та дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії. Результати розрахунків зведено до табл. 3.

Таблиця 3

Результати досліджень за рототабельним планом експериментів

Коеф. рівня	y_a				y_z			
	Знач. коэф.	$s^2 \{b\} \cdot 10^{-3}$	$\Delta b \pm$	Значеність	Знач. коэф.	$s^2 \{b\} \cdot 10^{-3}$	$\Delta b \pm$	Значеність
1	2	3	4	5	6	7	8	9
b_0	2,1	0,55	0,06	+	0,523	1,35	0,094	+
b_1	-0,035	0,24	0,04	-	0,203	0,59	0,063	+
b_2	-0,359	0,24	0,04	+	0,062	0,59	0,063	-
b_3	-0,296	0,24	0,04	+	0,172	0,59	0,063	+
b_{12}	0,049	0,41	0,052	-	0,041	1,01	0,082	-
b_{13}	-0,264	0,41	0,052	+	0,131	1,01	0,082	+

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
b ₂₃	-0,204	0,41	0,052	+	0,0013	1,01	0,082	-
b ₁₁	-0,008	0,23	0,039	-	0,032	0,56	0,061	-
b ₂₂	0,019	0,23	0,039	-	0,0024	0,56	0,061	-
b ₃₃	-0,041	0,23	0,039	+	-0,111	0,56	0,061	+

З урахуванням значимості коефіцієнтів рівняння регресії приймуть вигляд:

$$y_a = 2,1 - 0,359 \cdot x_2 - 0,296 \cdot x_3 - 0,264 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,204 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,041 \cdot x_3^2; \quad (2)$$

$$y_z = 0,523 + 0,203 \cdot x_1 + 0,172 \cdot x_3 + 0,131 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,111 \cdot x_3^2. \quad (3)$$

Адекватність отриманих моделей перевірялась за критерієм Фішера [7]. При 5 %-му рівні значимості табличне значення критерію становить $F_T = 4,7$. Розрахункові значення критеріїв склали $F_{a.p} = 3,85$ та $F_{z.p} = 4,4$. Так як розрахункові величини менше табличного значення, моделі вважаються адекватними.

За отриманими моделями (рівняннями регресії), при фіксації одного із параметрів процесу наплавлення, отримуємо поверхні відгуків, що наглядно показують вплив інших значень параметрів на товщину наплавленого шару та його хвилястості.

Рівняння регресії (2, 3) можна використовувати для розв'язку задач, які виникають під час проектування технологічних процесів, що містять операції наплавлення покриттів. На рис. 2-4 показані поверхні відгуків, що відображають вплив напруги на зварювальній дузі, швидкості та кроку наплавлення на товщину нанесеного шару та складову припуску, спричинену хвилястістю поверхні.

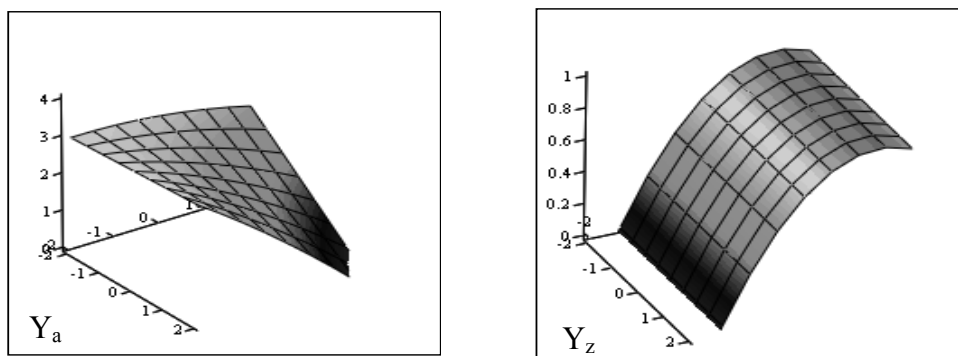


Рис. 2. Поверхні відгуків функцій $y(a)$ та $y(z)$ при U_{max}

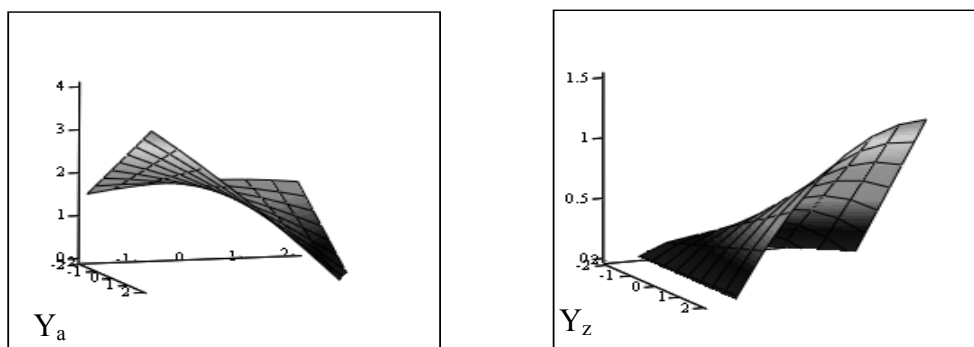


Рис. 3. Поверхні відгуків функцій $y(a)$ та $y(z)$ при V_{max}

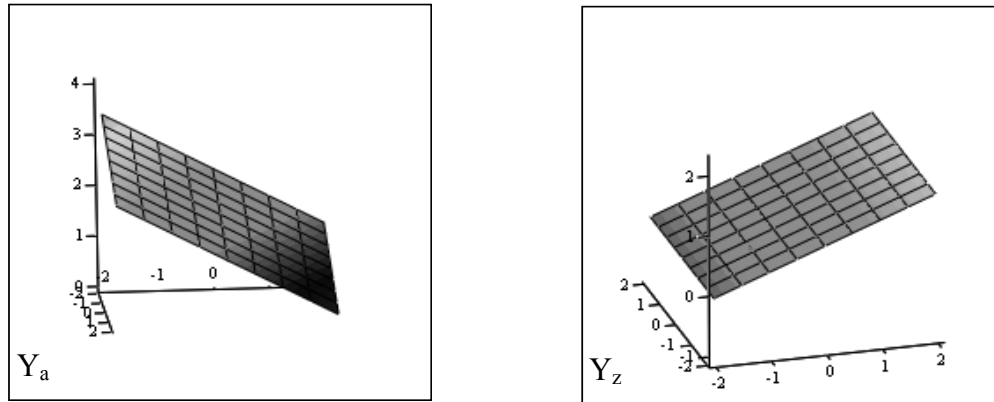


Рис. 4. Поверхні відгуків функцій $y(a)$ та $y(z)$ при t_{\max}

Вплив напруги на зварювальній дузі та швидкості наплавлення на товщину наплавленого покриття та припуск, спричинений хвилястістю поверхні, яку необхідно механічно зрізати, є нелінійним. Поверхні відгуку показують наявність екстремумів, найменших та найбільших значень функцій в області варіації параметрів.

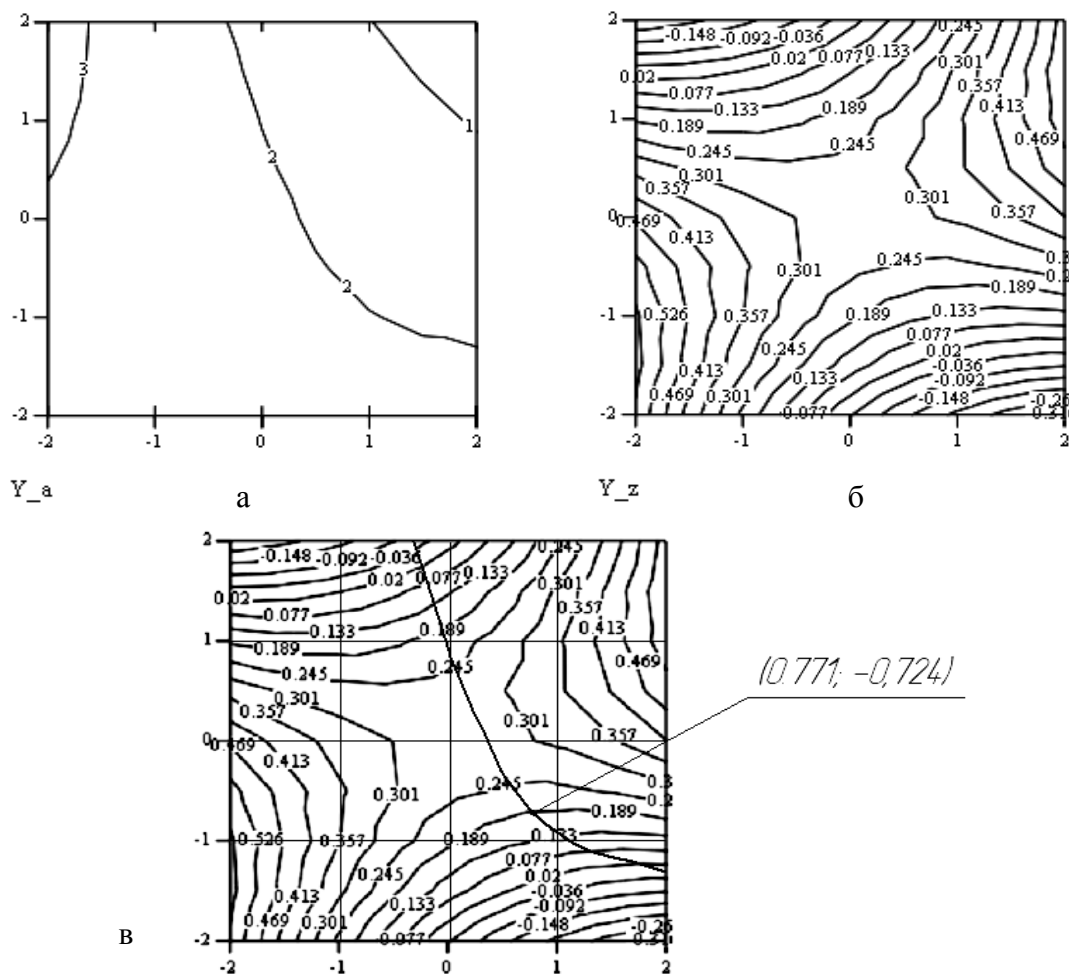


Рис. 5. Графічний розв'язок задачі оптимізації режимів наплавлення

З аналізу поверхонь відгуків випливає, що збільшення кроку наплавлення зменшує товщину наплавленого покриття та збільшує складову припуску, спричинену хвилястістю поверхні, яку необхідно механічно зрізати.

Фіксуючи один із параметрів процесу можна побудувати поверхню відгуку впливу двох інших параметрів на величини a та z . Наприклад, задаючи мінімальне, середнє та максимальне значення напруги наплавлення, отримаємо поверхні відгуків та їх перетини, що характеризують вплив швидкості та кроку наплавлення на величини a та z відповідно.

Використання таких перетинів поверхонь дає змогу визначати оптимальні режими нанесення покриття. В нашому випадку задача оптимізації полягає в наступному: необхідно визначити режими наплавлення, що забезпечують мінімальне значення припуску на механічну обробку при заданій товщині наплавленого шару ($z = 2$ мм).

Задачу розв'язано графічним методом. Для чого із перетину поверхні відгуку $Y(z)$, при фіксованому значенні напруги ($U = \min$), отримано криву, що відповідає товщині нанесеного шару $z = 2$ мм (рис. 5, а). Шляхом накладання кривої $Y(z) = 2$ на перетин поверхні відгуку $Y(a)$ (рис. 5, б) отримаємо координату перетину поверхонь, що відповідає наближеному до мінімального значення припуску на механічну обробку $z = 0,19$ мм.

Координата перетину поверхонь відгуку (0,771; -0,724) відповідає оптимальним кодованим значенням швидкості та кроку наплавлення, в межах керування, при мінімальному значенні напруги. Після переходу від кодovаних значень X_1, X_2, X_3 параметрів процесу наплавлення, а саме напруга (U), швидкість наплавлення (V), крок (t) відповідно отримаємо при мінімальній нарузі (22 В) та необхідному значенні наплавленого шару ($a = 2$ мм) – швидкість наплавлення 6,5 м/хв, із кроком 3,3 мм, що забезпечують наближений до мінімального припуск на механічну обробку $z = 0,19$ мм.

ВИСНОВКИ

Визначення режимів нанесення функціонального покриття методом наплавлення доцільно вести з використанням рівнянь регресії. Це дозволяє отримувати необхідну геометрію (товщина, складові припуску) у відповідності до вимог механічної обробки.

Для реальних технологічних процесів поставлені задачі доцільно розв'язувати графоаналітичним методом або методами лінійного програмування з використанням поверхонь відгуків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Молодик М. В. Відновлення деталей машин / М. В. Молодик, Б. А. Лангерт, А. К. Бредун. – К. : Урожай, 1985. – 160 с.
2. Лившиц Л. С. Основы легирования наплавленного металла / Л. С. Лившиц, Н. А. Гринберг, Э. Г. Куркумелли. – М. : Машиностроение, 1969. – 223 с.
3. Федірко П. П. Спосіб відновлення посадочних поверхонь під підшипники в корпусних деталях / П. П. Федірко, С. М. Борковський // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків : ХДТУСГ. – 2001. – Т. 1, Вип. 8. – С. 329–332.
4. Савуляк В. І. Наплавлення високовуглецевих покриттів з використанням вуглецевих волокон / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, В. Й. Шенфельд // Проблеми трибології. – 2010. – № 1. – С. 66–70.
5. Савуляк В. І. Відновлення зношених отворів поворотних цапф тролейбусів міського електротранспорту [Електронний ресурс] / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, В. Й. Шенфельд, Ю. С. Марченко // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2008. – № 3. – Режим доступу до журн.: <http://www.nbuiv.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-3/2008-3.htm>.
6. Заболотний С. А. Технологія наплавлення отворів зі зменшеними температурними похибками / С. А. Заболотний // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград, 2010. – Вип. 40, часть I. – С. 235–239.
7. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.
8. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 279 с.
9. Радченко С. Г. Устойчивые методы оценивания статистических моделей / С. Г. Радченко. – Киев : ПП «Санспарель», 2005. – 504 с.